

1763 022/5  
Docket No. 500.37328X00

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): YOKOGAWA, et al.  
Serial No.: 09/336,687  
Filed: June 21, 1999  
Title: PLASMA PROCESSING SYSTEM AND METHOD  
Group:



LETTER CLAIMING RIGHT OF PRIORITY

Honorable Commissioner of  
Patents and Trademarks  
Washington, D.C. 20231

July 16, 1999

Sir:

Under the provisions of 35 U.S.C. 119 and 37 CFR 1.55, the  
applicant(s) hereby claim(s) the right of priority based on:

Japanese Patent Application No. 10-176926  
Filed: June 24, 1998

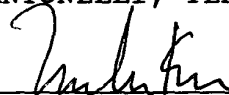
Japanese Patent Application No. 10-249307  
Filed: September 3, 1998

Japanese Patent Application No. 11-066018  
Filed: March 12, 1999

A Certified Copy of said Japanese Patent Application is  
attached.

Respectfully submitted,

ANTONELLI, TERRY, STOUT & KRAUS, LLP

  
Melvin Kraus  
Registration No. 22,466

MK/ssr  
Attachments

RECEIVED  
JUL 27 1999  
TC 1700 MAIL ROOM

日 本 国 特 許 庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application:

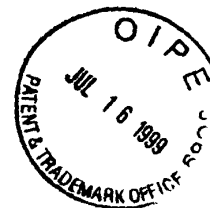
1999年 3月12日

出 願 番 号  
Application Number:

平成11年特許願第066018号

出 願 人  
Applicant (s):

株式会社日立製作所

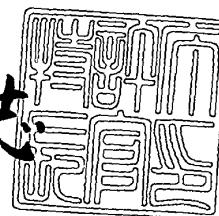


RECEIVED  
JUL 27 1999  
TC 1700 MAIL ROOM

1999年 6月17日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

伴佐山 建志



出証番号 出証特平11-3039938

【書類名】 特許願

【整理番号】 H99005811A

【提出日】 平成11年 3月12日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 21/3065

【発明の名称】 プラズマ処理装置およびプラズマ処理方法

【請求項の数】 53

【発明者】

【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

【氏名】 横川 賢悦

【発明者】

【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

【氏名】 伊澤 勝

【発明者】

【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

【氏名】 板橋 直志

【発明者】

【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

【氏名】 根岸 伸幸

【発明者】

【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

【氏名】 田地 新一

【特許出願人】

【識別番号】 000005108

【氏名又は名称】 株式会社日立製作所

【代理人】

【識別番号】 100068504

【弁理士】

【氏名又は名称】 小川 勝男

【電話番号】 03-3212-1111

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 平成10年特許願第176926号

【出願日】 平成10年 6月24日

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 平成10年特許願第249307号

【出願日】 平成10年 9月 3日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013088

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9003094

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 プラズマ処理装置およびプラズマ処理方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

真空排気手段と原料ガス供給手段と被加工試料設置手段と被加工試料への高周波電力印加手段を有する真空容器内で該原料ガスをプラズマ化し、該被加工試料の表面処理を行う表面処理装置において、該プラズマを形成する手段が電磁波供給手段と磁場発生手段からなり、該電磁波の該真空容器内への導入を該被加工試料に平行に配置された平面板から行い、該平面板と該被加工試料の間隔を 3 0 m m から該被加工試料または平面板のいずれか小さい方の径の 2 分の 1 とし、さらに該平面板表面とプラズマ中の活性種との反応量を制御する手段、被加工試料面内に入射する活性種の量と種類を均一化する手段、被加工試料に入射する活性種の時間的変動を低減する手段を有することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2】

請求項 1 記載の平面板において、該平面板の径が被加工試料径の 0. 7 から 1. 2 倍であることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 3】

請求項 1 記載のプラズマを形成する手段である電磁波の周波数が 3 0 0 から 5 0 0 M H z であることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 4】

請求項 1 記載のプラズマ形成手段である磁場発生手段による磁場が、平面板と被加工試料の間で電子サイクロトロン共鳴条件を満足する大きさであることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 5】

請求項 1 記載の平面板表面とプラズマとの反応を制御する手段が、該平面板に供給する請求項 3 記載の 3 0 0 から 5 0 0 M H z の電磁波とは別の第 2 の周波数の電磁波を重畳して該平面板に供給する手段であることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 6】

請求項 1 記載の平面板表面とプラズマとの反応を制御する手段が、該平面板の温度を制御する手段であることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 7】

請求項 1 記載の平面板表面とプラズマとの反応を制御する手段が、請求項 5 記載の第 2 の周波数の電磁波を重畳して該平面板に供給する手段と請求項 6 記載の該平面板の温度を制御する手段の両方であることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 8】

請求項 5、7 記載の平面板に重畳する第 2 の周波数が 5 0 k H z から 3 0 M H z であり、平面板に印加する該周波数の電力が平面板の単位面積あたり 0. 0 5 から 5 W / c m<sup>2</sup>であることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 9】

請求項 1、2、3、4、5、6、7、8 記載のプラズマ処理装置において、原料ガスを請求項 1 記載の平面板に形成した複数の微細孔より供給することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 1 0】

請求項 1、2、3、4、5、6、7、8、9 記載のプラズマ処理装置において請求項 1 記載の平面板のプラズマ側に接する表面がシリコン、カーボン、炭化シリコン、石英、酸化アルミ、アルミニウムの中のいずれか一つの材質で形成されていることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 1 1】

請求項 6、7 記載の平面板の温度を制御する手段において、該手段が該平面板内に温度制御された液体を循環させることにより、該平面板の温度を制御することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 1 2】

請求項 1 0 記載の平面板のプラズマ側に接する表面に設置する材料面より真空容器内にガスを供給する手段を配置したことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 1 3】

請求項 1 記載の被加工試料面内に入射する活性種の量と種類を均一化する手段が、被加工試料の周辺に配置された円環状の部材であることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 1 4】

請求項 1 3 記載の円環状の部材のプラズマに接する部分の材質がシリコン、カーボン、炭化シリコン、石英、酸化アルミ、アルミニウムのいずれか一つの材質で形成されていることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 1 5】

請求項 1 3 記載の円環状の部材において、該円環状の部材に高周波電力を印加することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 1 6】

請求項 1 5 記載の円環状の部材に高周波電力を印加する手段が、被加工試料に印加する高周波電力の一部を分岐し、該円環状の部材に印加する構造であることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 1 7】

請求項 1 記載の被加工試料に入射する活性種の時間的変動を低減する手段が、請求項 1 記載の真空容器壁、平面板、請求項 1 3 記載の円環状の部材の温度制御手段であることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 1 8】

請求項 1 4、1 5、1 6、1 7 記載の円環状の部材において、該円環状の部材の被加工試料面に垂直方向の高さが、被加工試料面より 0 から 4 0 m m の範囲であることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 1 9】

請求項 1 4、1 5、1 6、1 7 記載の円環状の部材において、該円環状の部材の被加工試料面に水平方向の幅が 2 0 m m から請求項 1 記載の平面板と被加工試料間距離の範囲であることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2 0】

請求項 1 6 記載の円環状の部材に高周波電力を印加する手段で、被加工試料に

印加する高周波電力の一部を分岐する手段がコンデンサまたはコンデンサの機能を有する構造であることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2 1】

請求項 1 記載の真空容器内に電磁波を供給する平板において、該平板がアース電位の平板に誘電体を介して配置され、該平板とアース電位の平板ではさまれる誘電体内で、供給した電磁波が T M 0 1 モードで共振する構造であることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2 2】

請求項 1、2 1 記載の平板において、該平板は円盤状であり、さらに該平板の中央に接続される円錐状の導体を介して電磁波を供給することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2 3】

請求項 1 7 記載の真空容器壁、平板、円環状の部材の温度制御手段が温度制御された液体を循環させることにより、前記各部の温度を制御し、その温度範囲が 2 0℃から 1 4 0℃の範囲であることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2 4】

請求項 1 記載の磁場発生手段による磁場の磁力線の向きが、請求項 1 記載の平板および被加工試料面と垂直方向である事を特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2 5】

請求項 1 記載の磁場発生手段による磁場の磁力線の向きが、請求項 1 記載の平板および被加工試料面と略垂直方向である事を特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2 6】

請求項 1 記載の平板において、該平板のプラズマに接する面の全面または一部を誘電体で被服することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2 7】

請求項 2 6 記載の該平板のプラズマに接する面の全面または一部を被服する誘電体が石英、酸化アルミニウム、窒化シリコン、ポリイミド樹脂のいずれか一種類の材料で構成されていることを特徴とするプラズマ処理装置。



【請求項 28】

請求項 26、27 記載の誘電体の温度を 20℃から 250℃の範囲内で一定に制御する手段を有することを特長とするプラズマ処理装置。

【請求項 29】

請求項 1 至乃 28 記載のプラズマ処理装置において、平板に供給する 300 から 500 MHz の電磁波を供給する給電線路に被加工試料に印加する高周波電力をアースに流入させるフィルタを設置する事を特長とするプラズマ処理装置。

【請求項 30】

請求項 1 至乃 29 記載のプラズマ処理装置において、被加工試料に 100 kHz から 14 MHz の高周波電力を被加工試料の単位面積あたり 0.5 から 8 W/cm<sup>2</sup> 印加し、被加工試料の表面処理を行うことを特長とするプラズマ処理方法。

【請求項 31】

請求項 15、16 記載の円環状の部材に印加する高周波電力が円環状の部材のプラズマに接する面の単位面積あたり 0 から 8 W/cm<sup>2</sup> であることを特長とするプラズマ処理装置。

【請求項 32】

請求項 1 至乃 31 記載のプラズマ処理装置において、磁場発生手段により平板と被加工試料間に形成される電子サイクロトロン共鳴条件磁場領域の被加工試料面からの高さおよびその領域幅を制御し、プラズマ内で生成される活性種の制御を行うことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 33】

請求項 1 記載のプラズマ処理装置において、真空容器上部を石英、酸化アルミのいずれかの一方の絶縁材料で構成し、該絶縁材料の大気側に請求項 20 記載のアース電位導体に誘電体を介し配置される平板を設置し、該平板に請求項 3 記載の電磁波を供給し、該電磁波と磁場の相互作用により、該真空容器内にプラズマを形成することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 34】

平面状の被加工試料を処理するプラズマ処理装置において、被加工試料と被加

工試料試料に対面する部材との距離が 30 mm から該被加工試料径の 1/2 であることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 35】

請求項 34 記載のプラズマ処理装置において、被加工試料の周囲に請求項 15、16、30 記載の円環状の部材を配置することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 36】

請求項 34、35 記載のプラズマ処理装置において、被加工試料に対面する位置に配置される部材が石英、酸化アルミ、シリコン、窒化シリコン、炭化シリコン、ポリイミド樹脂のいずれか一種類の材料で構成されていることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 37】

請求項 1 至乃 36、50、51、52、53、54 記載のプラズマ処理装置を用いて、原料ガスにアルゴンと  $C_4F_8$  の混合ガスを用い、アルゴン流量が 50 から 500 sccm、 $C_4F_8$  流量が 2 から 50 sccm で、該混合ガスの圧力が 0.2 から 3 Pa の条件でシリコン酸化膜のエッチング処理を行うプラズマ処理方法。

【請求項 38】

請求項 37、44 のプラズマ処理方法において、2 から 50 sccm の CO ガスを添加し、シリコン酸化膜のエッチング処理を行うプラズマ処理方法。

【請求項 39】

請求項 37、38、44 記載のプラズマ処理方法において、0.5 から 20 sccm の酸素ガスを添加し、シリコン酸化膜のエッチング処理を行うプラズマ処理方法。

【請求項 40】

請求項 37、38、44 記載のプラズマ処理方法において、2 から 50 sccm の  $CHF_3$ 、 $CH_2F_2$ 、 $CH_4$ 、水素ガスのいずれか一つまたは混合ガスを添加しシリコン酸化膜のエッチング処理を行うプラズマ処理方法。

【請求項 4 1】

請求項 1 至乃 3 6、5 0、5 1、5 2、5 3、5 4 記載のプラズマ処理装置において  $C_2F_6$ 、 $CHF_3$ 、 $CF_4$ 、 $C_3F_6O$ 、 $C_3F_7$ 、 $C_5F_8$  ののいずれか一種類のガスを用いシリコン酸化膜のエッチングを行う事を特長とするプラズマ処理方法。

【請求項 4 2】

請求項 4 1 記載のガスに  $CO$  ガスを添加し、シリコン酸化膜のエッチングを行う事を特長とするプラズマ処理装置。

【請求項 4 3】

請求項 4 1、4 2 記載のガスに酸素ガスを添加し、シリコン酸化膜のエッチングを行う事を特長とするプラズマ処理装置。

【請求項 4 4】

請求項 1 至乃 3 6、5 0、5 1、5 2、5 3、5 4 記載のプラズマ処理装置を用いて、原料ガスにアルゴンと  $C_5F_8$  の混合ガスを用い、アルゴン流量が 5 0 から 5 0 0 s c c m、 $C_5F_8$  流量が 2 から 5 0 s c c m で、該混合ガスの圧力が 0 . 2 から 3 P a の条件でシリコン酸化膜のエッチング処理を行うプラズマ処理方法。

【請求項 4 5】

請求項 1 至乃 3 6、5 0、5 1、5 2、5 3、5 4 記載のプラズマ処理装置を用いて、原料ガスが塩素で圧力 0 . 1 から 2 P a の条件で、シリコン、アルミニウム、タングステンあるいは該シリコン、アルミニウム、タングステンを主成分とする材料のエッチング処理を行うプラズマ処理方法。

【請求項 4 6】

請求項 1 至乃 3 6、5 0、5 1、5 2、5 3、5 4 記載のプラズマ処理装置を用いて、原料ガスが  $HBr$  で圧力 0 . 1 から 2 P a の条件で、シリコン、アルミニウム、タングステンあるいは該シリコン、アルミニウム、タングステンを主成分とする材料のエッチング処理を行うプラズマ処理方法。

【請求項 4 7】

請求項 1 至乃 3 6、5 0、5 1、5 2、5 3、5 4 記載のプラズマ処理装置を

用いて、原料ガスが塩素と HBr の混合ガスで圧力 0.1 から 2 Pa の条件で、シリコン、アルミニウム、タングステンあるいは該シリコン、アルミニウム、タングステンを主成分とする材料のエッチング処理を行うプラズマ処理方法。

【請求項 48】

請求項 45、46、47 記載のプラズマ処理方法で、酸素ガスを添加し、シリコン、アルミニウム、タングステンあるいは該シリコン、アルミニウム、タングステンを主成分とする材料のエッチング処理を行うプラズマ処理方法。

【請求項 49】

請求項 1 至乃 36、50、51、52、53、54 記載のプラズマ処理装置において、酸素ガス、メタンガス、塩素ガス、窒素ガス、水素、 $\text{CF}_4$ 、 $\text{C}_2\text{F}_6$ 、 $\text{CH}_2\text{F}_2$ 、 $\text{C}_4\text{F}_8$ 、 $\text{SF}_6$  のいずれかを成分とする原料ガスにより、有機物を主体とする材料のエッチング処理を行うことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 50】

請求項 1 至乃 36 記載のプラズマ形成手段である磁場発生手段による磁場が、平板と被加工試料の間に 100 ガウス以下の磁場であることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 51】

請求項 1 至乃 36 記載のプラズマ処理装置においてプラズマを形成するのに磁場形成手段を用いないことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 52】

請求項 1 至乃 36 記載のプラズマ処理装置において、請求項 5 記載の平板に重畳して印加する第 2 の電磁波を請求項 29 記載の被加工試料に印加する電磁波を分岐し供給することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 53】

請求項 1 至乃 36 記載のプラズマ処理装置において、プラズマを形成する手段である電磁波の周波数が 200 MHz から 950 MHz であることを特徴とするプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は半導体装置の微細加工、特に半導体材料をリソグラフィ技術によりパターニングした形状にエッチング処理するプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来の半導体装置の製造工程で用いられるプラズマ処理装置は、例えば、エッチングについては「日立評論、Vol. 76、No. 7、(1994)、55～58頁」に記載されている有磁場マイクロ波プラズマエッチング装置がある。有磁場マイクロ波プラズマエッチング装置は空心コイルで発生させた磁場と立体回路を介して真空容器内に導入されるマイクロ波領域の電磁波で気体をプラズマ化している。この従来装置では、低ガス圧で高いプラズマ密度が得られることから、高精度かつ高速で試料の加工を行うことができる。さらに、例えば、「Appl. Phys. Lett.、Vol. 62、No. 13、(1993)、1469-1471頁」には永久磁石による局所磁場を用いる有磁場マイクロ波プラズマエッチング装置が報告されている。この装置では磁場を永久磁石により形成するため装置コスト及び消費電力共に上記従来装置に比べ格段に低くすることができる。また、特開平3-122294号公報には100MHzから1GHzの高周波によりプラズマを生成し、ミラー磁場を用いて効率よくエッチングすることについて開示されている。さらに、特開平6-224155号公報には、櫛状アンテナから100から500MHzの高周波をかけてプラズマを生成し、大口徑チャンバ内で均一なプラズマを形成することが示されている。

【0003】

また特にシリコン酸化膜加工用としては狭電極平行平板型（以下「狭電極型」という）の装置が実用化されている。狭電極型装置は1.5cmから3cm程度の間隔の平行平板間に十数から数十MHzの高周波を印加し、プラズマを形成している。狭電極型装置は原料ガス圧力が数十mTorr領域で用いられる。この

狭電極型は比較的安定な酸化膜エッチング特性が長期にわたって得られるという特徴をもっている。

【0004】

また、特開平7-307200号公報には、導入波長の $1/4$ の長さを有する放射状のアンテナから300MHz程度高周波をかけることについて記載されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

上記永久磁石による局所磁場を用いる有磁場マイクロ波エッチング装置では、小型の永久磁石を複数使用している為磁場領域プラズマが主に生成されている領域でのプラズマの均一性が悪く、従って被加工試料をプラズマ生成領域から離れた位置に設置仕手、拡散によってプラズマを均一化して使用している。このため、被加工試料位置では十分なプラズマ密度が得られず、十分な加工速度が得られないという問題ある。

【0006】

また、特開平3-122294号公報や特開平6-224155号公報に記載のようなECR型の装置では、有磁場マイクロ波プラズマ源には試料に対面する位置から電磁波を導入するため、試料対面位置には絶縁体しか設置できない。従って、被加工試料に高周波バイアスを印加する場合等に必要なアース電極を理想的な位置である被加工試料と対面する位置設置できず、バイアスの不均一が生じるという問題もあった。被加工試料の加工特性にはプラズマ中の活性種が重要な影響を与える。この活性種は真空容器壁の材質とに影響される特に被加工試料に対面する位置の壁材とその距離は被加工試料の加工性能に大きく影響する。言い換えれば被加工試料に対向する位置の材料とその距離で活性種を制御できることになる。しかし、従来ECR型は被加工試料に対面する位置に配置に絶縁体（現実には石英あるいは酸化アルミニウム）しかできない設置できないため、活性種を理想的な状態に制御できない。

【0007】

狭電極型装置では、先のECR型に比べ被加工試料の対向部に電極がある為、

被加工試料のバイアスに依るアース電極の問題および対向部材質により活性種を制御できない問題が解決される。しかし、狭電極型は比較的使用ガス圧力が高いため、被加工試料に入射するイオンの指向性が不均一になり、微細加工性が悪く、また電極間隔が30mm程度以下のため、高流量ガス導入時に被加工試料面内で圧力差が大きくなってしまいう問題を有する。この問題は被加工試料径の拡大に伴い顕著となり、次世代の300mmウエハ以上の加工では本質的な課題となる。

【0008】

また特開平6-224155号公報に記載のような櫛状アンテナや特開平7-307200号公報に記載のような放射状のアンテナでは、アンテナを利用していない場合に比べればプラズマの均一性が上がるが、それでも十分な均一性を得ることができない。

【0009】

本発明の目的は、低消費電力で、被加工試料の加工面積が大きい場合にも均一性の高い有磁場マイクロ波プラズマを発生させ、かつ微細加工性に優れ、高選択比、高アスペクト比の加工が可能で、かつ高速度の加工処理ができるプラズマ処理装置を提供することにある。特にプラズマ内の活性種をプラズマ生成条件とは独立に制御し、高精度な活性種制御を実現することで高い表面処理性能を実現する。また長期間にわたりプラズマ内での活性種の組成が変動せず、安定した加工特性を持続を実現する。

【0010】

【課題を解決するための手段】

被加工試料に対面する位置にプラズマ励起用電磁波を導入する平面板を設置し、かつ該平面板に第2高周波を印可し、さらに平面板と被加工試料間の距離を30mmから被加工試料径の1/2とする構造とした。プラズマ励起には300から500MHzの電磁波を用い、第2周波数には50kHzから30MHzを用いる。また被加工試料の周辺にシリコン等の材料で形成された円環状の部材を配置し、この円環状の部材にバイアスが印可できる構造とした。さらに上記平面板、真空容器壁、円環状の部材を温度制御する機能を付加した。

## 【0011】

以上の構成により、低磁場低ランニングコストで高密度プラズマを形成でき、高速で微細な加工が可能となる。また平面板に第2の周波数を付加し、平面板と被加工試料の間隔を被加工試料または平面板のいずれか小さい方の径の $1/2$ 以下とすることで、プラズマ内の活性種を制御でき、被加工資料面上での反応を高精度に制御することで高選択比と微細加工性を両立したプラズマ処理装置が可能となる。また本発明ではプラズマに接する大部分に常にバイアスが印可され反応が持続している状態あるいは温度制御された状態となるため、処理状態の経時変化が少なく長期的な処理性能の安定化が可能となる。

## 【0012】

以上のプラズマ処理装置で、平面板にシリコン、カーボン、石英、炭化シリコンのいずれかを用い、アルゴンと $C_4F_8$ に代表されるフロンガスの混合ガスを主とする原料ガスを用いることで高精度なシリコン酸化膜の加工が可能となるプラズマ処理方法が実現できる。また同様に原料ガスに塩素、 $HBr$ 、またそれらの混合ガスを主体とする原料ガスを用いることでシリコン、アルミ、タングステンの高精度加工が可能となるプラズマ処理方法が実現できる。

## 【0013】

## 【発明の実施の形態】

本発明による実施の形態を以下で説明する。

## 【0014】

本発明による実施の形態を図1に示す。図1の実施の形態は本発明における装置の基本的構成であり、真空排気されガス導入手段1を有する真空容器2に電磁石3が配置されており、同軸ケーブル4により平面板5に導入される電磁波と該電磁石3による磁場の相互作用で真空容器2内に導入されたガスをプラズマ化し、被加工試料6を処理する。ここで電磁波放射に用いる平面板5は、特願平8-300039に記されている平面板と同等である。本実施の形態における平面板5にはプラズマ形成用の450MHz電源7と、フィルタ8を介し、13.56MHz電源9の2つの周波数が印可されている。磁場の大きさは、平面板5と被加工試料6のプラズマ生成領域で、電子サイクロトロン共鳴を満足する大きさが



必要であり、図 1 の実施の形態では 450MHz の電磁波を用いているため、100-200 ガウスの磁場強度である。被加工試料 6 は 8 インチ径であり、該被加工試料と平面板 5 の間隔は 7 cm となっている。

【0015】

平面板 5 の表面はシリコン 10 で形成されており、また該シリコン 10 の表面に形成した複数の孔から原料ガスが真空容器 2 内に導入される構成となっている。さらに真空容器壁には真空容器壁温度制御手段 26 が設置されている。この真空容器壁温度制御手段 26 による真空容器壁の温度制御範囲は 20 から 140 度である。

【0016】

本実施の形態では平面板 5 の径を 255 mm とした。13.56 MHz 電源 9 の電磁波は平面板 5 に配置されたシリコン 10 の表面とプラズマの間で形成される電位を調節する機能を持つ。該 13.56 MHz 電源 9 の出力を調節することでシリコン表面の電位が任意に調節でき、シリコン 10 とプラズマ内活性種の反応が制御できる。また本発明では平面板 5 上に配置されたシリコン 10 と被加工試料 6 の間隔を被加工試料径の 1/2 以下である 100 から 30 mm で調節できる構造となってる。該間隔の制御は被加工試料台 11 の上下により行う。被加工試料 6 または平面板 5 上のシリコン 10 での反応生成物は真空容器内に拡散する。しかし、被加工試料 6 またはシリコン 10 の表面付近は反応生成物が気相中分子と衝突することによりだだよい、実質的に表面反応の影響を非常に強く受けた気相状態となる。その領域は図 2 に示すように、反応する面の大きさに依存し、ほぼ反応する面の半径となる。よって被加工試料 6 とその対面する位置に相当するシリコン 10 の間隔を被加工試料 6 の半径以下とすることで、互いの面での反応を強く反映させることができる。

【0017】

たとえば原料ガスにフロン系ガスを用いシリコン酸化膜のエッチング処理を行う場合、フロン系ガスの解離種であるフッ素ラジカルがエッチングの特性（特にエッチング選択性）を低下させる。

## 【0018】

しかし、本発明の構成とすることで、シリコン10でフッ素を反応させ消費することで被加工試料6に入射するフッ素ラジカルを大幅に低減できる。シリコン10と被加工試料6の間隔を被加工試料6の半径以上にするとこのフッ素ラジカルの低減効果が小さくなり、効果は急激に低下する。また該間隔を小さくすることはシリコン10と被加工試料6に囲まれたプラズマのボリュウムを小さくすることになる。先のフロン系ガスのプラズマによるフッ素ラジカルの発生絶対量はプラズマのボリュウムに比例するのに対し、シリコン10でのフッ素の消費はシリコン10の面積および該シリコン10に印可されるバイアス条件にのみ依存する。よって間隔を小さくするとフッ素の発生絶対量は抑制されるのに対し、シリコン10での消費量は不変とすることができる。結果として被加工試料6に入射するフッ素ラジカルを低減できる。この効果も間隔を被加工試料径の1/2以下とすることによる、フッ素ラジカルの低減効果につながる。以上の活性種制御機能は間隔と平面板5に重畳する13.56MHzの電力で決まり、プラズマ生成条件（例えば放電電力、ガス圧力、流量等）と独立に制御できるのでプロセスの制御範囲を大幅に広げることが可能となる。

## 【0019】

また平面板5と被加工試料の間隔を30mm以下とすると平面板5表面から供給するガスの被加工試料面内圧力分布が劣化してしまう。この劣化は被加工試料径の拡大と共に無視できなくなり、次世代の300mmウエハの加工では本質的な問題となる。よって平面板5と被加工試料6との間隔は30mmから被加工試料径の1/2以下（ $\phi 200$ ウエハであれば100mm、 $\phi 300$ ウエハであれば150mm）で良好な特性が得られる。シリコン酸化膜エッチングでは深く微細な孔を高速でかつ高エッチング選択比で加工しなければならない。この深孔での微細性とエッチング選択比は気相内ラジカル種と入射イオン密度により特性が支配され、トレードオフの関係にある。よってプラズマの生成条件と独立に高精度な活性種制御が可能な本発明は従来にないシリコン酸化膜エッチング特性を実現できる。また平面板5には温度制御機能16が設置されており、シリコン10の表面反応の時間的変動を低減している。

## 【0 0 2 0】

また図 5 は図 2 における平面板表面におけるシリコン 1 0 に設けられた複数の微細孔で構成される原料ガス導入部分の詳細を記した図である。

## 【0 0 2 1】

本発明では図 1 に示中に示す円環状の部材 1 2 を被加工試料 6 の周囲に配置している。円環状の部材 1 2 のプラズマに接する面はシリコン 1 3 で形成されており、また被加工試料 6 に印可するバイアスの一部を容量 1 4 により分割することで、該シリコン 1 3 にバイアスが印可される構造となっている。また円環状の部材 1 2 の直下に温度制御機能 1 5 が設置されており、該円環状部材の温度を一定化できる構造となっている。被加工試料 6 であるシリコンウエハは通常レジストマスクに覆われている。被加工試料 6 表面に入射するプラズマ中の活性種の量は、このレジストとの反応に影響される。例えば  $C_4F_8$  に代表されるフロン系ガスのプラズマで派生するフッ素ラジカルはレジストと反応することで消費される。この反応により被加工試料 6 に実行的に入射するフッ素ラジカルの量が決まり、前記図 2 の説明と同様な理由で被加工試料 6 の中心部と周辺部ではフッ素ラジカルの量に差が生じてしまう。円環状の部材 1 2 はその表面反応により被加工試料周辺部で過剰となるフッ素ラジカルを消費し、活性種入射の被加工試料 6 への均一化をはかることが可能となる。この円環状の部材表面の反応は先のバイアス印可機能によるバイアスで調整可能であり、また冷却機能 1 5 により反応の時間的変動が低減されている。円環状の部材 1 2 の被加工試料面に水平方向の幅を、平面板 5 と被加工試料 6 間距離と同じ長さとする事で完全に被加工試料 6 面内に入射する活性種を均一化できる。ただし、実質的には 2 0 mm 以上の幅で十分効果がある。よって円環状の部材 1 2 の幅は平面板 5 と被加工試料 6 間距離から 2 0 mm が有効範囲となる。また円環状の部材 1 2 の被加工試料 6 に垂直方向の高さは先の幅とも関係あり、幅を大きく取るほど高さが低くできる。実質的には高さ 0 から 4 0 mm の範囲内でその高さに最適な幅を前記の範囲から選ぶ。図 1 の実施例では円環状の部材 1 2 表面の材質をシリコン 1 3 としたが、他にカーボン、炭化シリコン、石英、酸化アルミ、アルミニウムでも制御する活性種の種類により、同等の効果がある。

## 【0022】

図6は円環状の部材への電磁波の具体的供給方法を示す。被加工試料と共通の800kHz電源より電磁波を誘電体32を介し供給する。誘電体32の厚さを調節することで誘電体32部の容量が調整でき円環状の部材供給される電磁波電力を制御できる。もちろん図6に示す誘電体の他に可変容量により分岐し電力制御を実施しても同様である。本発明ではプラズマ接する大部分の領域が常にバイアスが印可されるか、温度制御機能を有しており、真空容器内部状態の経時変化が少なく長期的な処理性能の安定化が可能となる。真空容器内壁、平面板5、円環状の部材12の温度制御範囲を20から140度の範囲とすることで、吸着活性種の安定化がはかられ処理特性の時間的変動を低減できる。

## 【0023】

図1に示す石英リング17は平面板5あるいはシリコン10の周辺電界強度を緩和し、プラズマの均一生成を可能とする。本実施例では該石英リングのボリューム（厚み）で熱容量を制御し、該石英リング17の温度制御をおこなっている。図1の実施例では石英リングを用いたが他の誘電体材料例えば酸化アルミニウム、窒化シリコン、ポリイミド樹脂であっても同様の効果があることはいうまでもない。また本実施例では石英リングを平面板5あるいはシリコン10の円周部にしか配置しなかったが、全面に配置しても本発明の効果がある。その際図3に示すように、平面板5大気側に配置し、該誘電体で真空を保持することで装置構成が簡単な本発明における装置が実現できる。図3では図1の構成と異なる部分のみに符号および符号の説明を記した。その他図1と同様な部分に関する符号および符号の説明は省略する。図3の実施の形態では図1の実施例におけるシリコン10の表面反応を用いことができないが、他の機能は十分有するため、被加工試料の対向部の反応をそれほど必要としない加工応用には、装置構成が簡単となる利点がある。

## 【0024】

また図1および図2の装置構成にかかわらず、被加工試料とそれに対面する位置に存在する部材との距離関係を本発明における30mmから被加工試料径の1/2とすることで、本発明の活性種制御による効果を有する。その際、前記の円

環状の部材を被加工試料周囲に配置することで、同様の活性種均一化の効果も有することはいうまでもない。

## 【0025】

次に図1の実施の形態の動作例を説明する。本実施の形態ではシリコン酸化膜のエッチング処理を実施する場合を記す。シリコン酸化膜をエッチングする場合、本発明では原料ガスにアルゴンとC<sub>4</sub>F<sub>8</sub>の混合ガスを用いる。原料ガスの圧力は2Paである。また流量はアルゴンが400sccm、C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>が15sccmとした。平面板5には450MHz電源7から800Wの電力を供給し、プラズマを形成した。

## 【0026】

さらに平面板5に13.56MHz電源9から300Wの電力を450MHzに重畳して印可し、平面板5上に配置したシリコン10のとプラズマ間に形成される電位を調整した。被加工試料6は200mm径のウエハを用いた。被加工試料台11の被加工試料6に接する領域は-20度の温度に保たれ、被加工試料6の温度を制御している。また被加工試料6には800kHz電源18の電磁波が供給され、被加工試料6にプラズマから入射するイオンのエネルギーを制御している。図4に本動作例によるシリコン酸化膜のエッチング速度およびシリコン酸化膜と窒化シリコン膜のエッチング速度差（選択比）を示す。図4では被加工試料台11の高さを変え、シリコン10と被加工試料6の間隔によるエッチング特性を示した。図4では本発明の間隔制御による効果を示すため、シリコン10と被加工試料6の間隔を被加工試料径の1/2より大きい、140mmからのエッチング特性を示した。図4の結果よりエッチング速度は間隔にあまり大きく依存しないが、エッチング選択比は大きく変化することが確認できる。特に被加工試料径の1/2に相当する100mm以下からのエッチング選択比向上が顕著であることがわかり、本発明の有用性が確認できる。

## 【0027】

本実施の形態ではプラズマ形成用の電磁波として450MHzを用いたが300から500MHzの電磁波であっても同様の効果がある。周波数を変える場合には同時に磁場強度も変える必要があり、平面板5と被加工試料6のプラズマ生

成領域に電子サイクロトロン共鳴を満足する磁場強度を形成する。また同様にプラズマを形成する電磁波として200MHzから950MHzでも基本的には同様の効果がある。しかし、500MHzを超える場合では電源のコストが高くまた大型となりやすく、300MHz以下ではプラズマ生成効率が少し低くなる。

## 【0028】

平板に重畳する13.56MHzの電磁波において、本実施の形態の他に50kHzから30MHzの電磁波で同様の効果が発揮できる。また被加工試料に印加する電磁波を容量等により分岐し、平板に重畳することでも同様の効果があり、さらに電源を重畳用と被加工試料印加用を共通とすることで装置の簡略化および低コスト化ができる。

## 【0029】

30MHzより高い周波数ではシリコン10に発生するプラズマ間との電位が小さく、また50kHzより小さい周波数では平板5上に設置するシリコン9の表面状態により、プラズマ間とに発生する電位差が変動するため適用が困難である。

## 【0030】

本実施の形態では平板5上にシリコン10を配置したが、他にカーボン、炭化シリコン、石英、酸化アルミ、アルミニウムを用いて該材料面での反応を用いることで同様に活性種を制御することが可能である。

## 【0031】

本実施の形態では原料ガスにアルゴンと $C_4F_8$ を用いたが、混合ガスに2から50sccmのCOあるいは0.5から20sccm酸素あるいは2から50sccmの $CHF_3$ 、 $CH_2F_2$ 、 $CH_4$ 、水素ガス単体またはそれらの混合ガスを添加し、シリコン酸化膜のエッチング処理を実施することが可能であり、該添加ガスによりプロセス条件をさらに精度よく制御できる。

## 【0032】

本発明による装置を用い添加ガスとしてでなく $C_2F_6$ 、 $CHF_3$ 、 $CF_4$ 、 $C_3F_6O$ 、 $C_3F_7$ 、 $C_5F_8$ のいずれか一種類のガスを主に用いシリコン酸化膜のエッチングを行うことでも同様の効果があることはいうまでもない。さらにこれ

らガスにCOガス、酸素ガスまたはその両方を添加ガスとして用いても同様の効果がある。

【0033】

本発明による装置を用い、酸素ガス、メタンガス、塩素ガス、窒素ガス、水素、 $CF_4$ 、 $C_2F_6$ 、 $CH_2F_2$ 、 $C_4F_8$ 、 $SF_6$ のいずれかを成分とする原料ガスにより、有機物を主体とする材料のエッチング処理を行うことも可能である。

【0034】

本実施の形態では、シリコン10表面での反応制御を重畳して印可する電磁波により実施したが、該電磁波による制御に加え、該平面板に温度制御機能を付加し、該温度制御によりシリコン10の反応を制御することが可能である。特にシリコン10での反応の安定化に有効である。

【0035】

本実施の形態ではシリコン酸化膜のエッチングを実施する場合について記したが、他に塩素または塩素を主とするガスを用いた本発明により、シリコン、タングステンのエッチング処理が可能である。

【0036】

本実施の形態ではプラズマ生成に磁場印加手段を用いさらにその磁場強度を電子サイクロトロン共鳴を満足する磁場強度としたが、無磁場あるいは電子サイクロトロン共鳴を満足する磁場強度以外でも同様の効果が得られ、低コストな装置が実現できる。ただしいずれのばあも実施の形態で説明した電子サイクロトロン共鳴を満足する磁場強度を用いる場合よりプラズマ密度が0.8～0.3倍と低くなり、応用範囲が減る。

【0037】

【発明の効果】

本発明により、300から500MHzの電磁波の電子サイクロトロン共鳴プラズマを用いるプラズマ処理装置において、プラズマ生成条件とは独立にプラズマ内の活性種が制御可能となる。特に被加工試料と被加工試料に対面する位置に設置される平面板の間隔、平面板上の材質および平面板に重畳して印可する電磁波を本発明に記す範囲で制御することで活性種制御効果を飛躍的に増大し、処理

条件の制御性および制御範囲を大幅に広げることが可能となり、高精度なプラズマ処理装置が実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の具体的実施の形態 1 を示す図である。

【図 2】

本発明の具体的実施の形態 2 を示す図である。

【図 3】

本発明の実施の形態における効果の説明図 1。

【図 4】

本発明の実施の形態における効果の説明図 2。

【図 5】

図 2 におけるシリコン表面に形成した複数の微細孔部分の詳細図。

【図 6】

円環状の部材への電磁波供給方法の例。

【符号の説明】

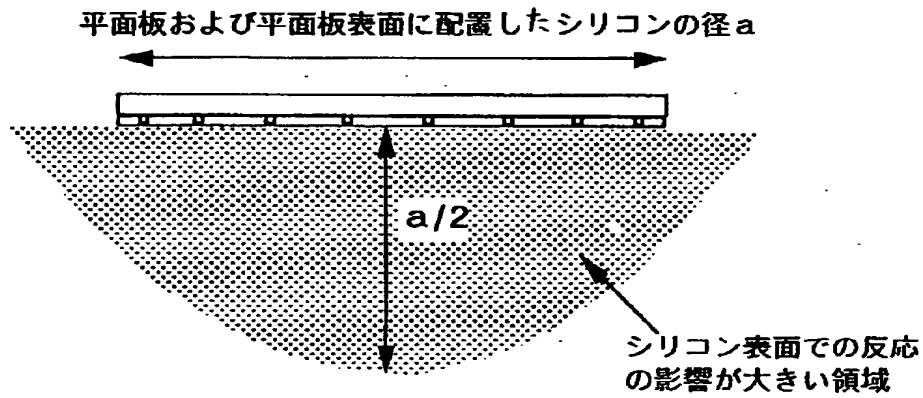
1…ガス導入手段、2…真空容器、3…電磁石、4…同軸ケーブル、5…平面板、6…被加工試料、7…450MHz 電源、8…フィルタ、9…13.56MHz 電源、10…シリコン、11…被加工試料台、12…円環状の部材、13…シリコン、14…容量、15…冷却機能、16…温度制御機構、17…石英リング、18…800kHz 電源、19…直流電源、20…容量、21…整合器、22…整合器、23…整合器、24…800kHz 通過フィルタ、25…誘電体、26…真空容器壁温度制御手段、27…平面板、28…誘電体、29…石英、30 石英シャワープレート、31…ガス導入手段、32…誘電体、33…被加工試料台の電磁波供給部。





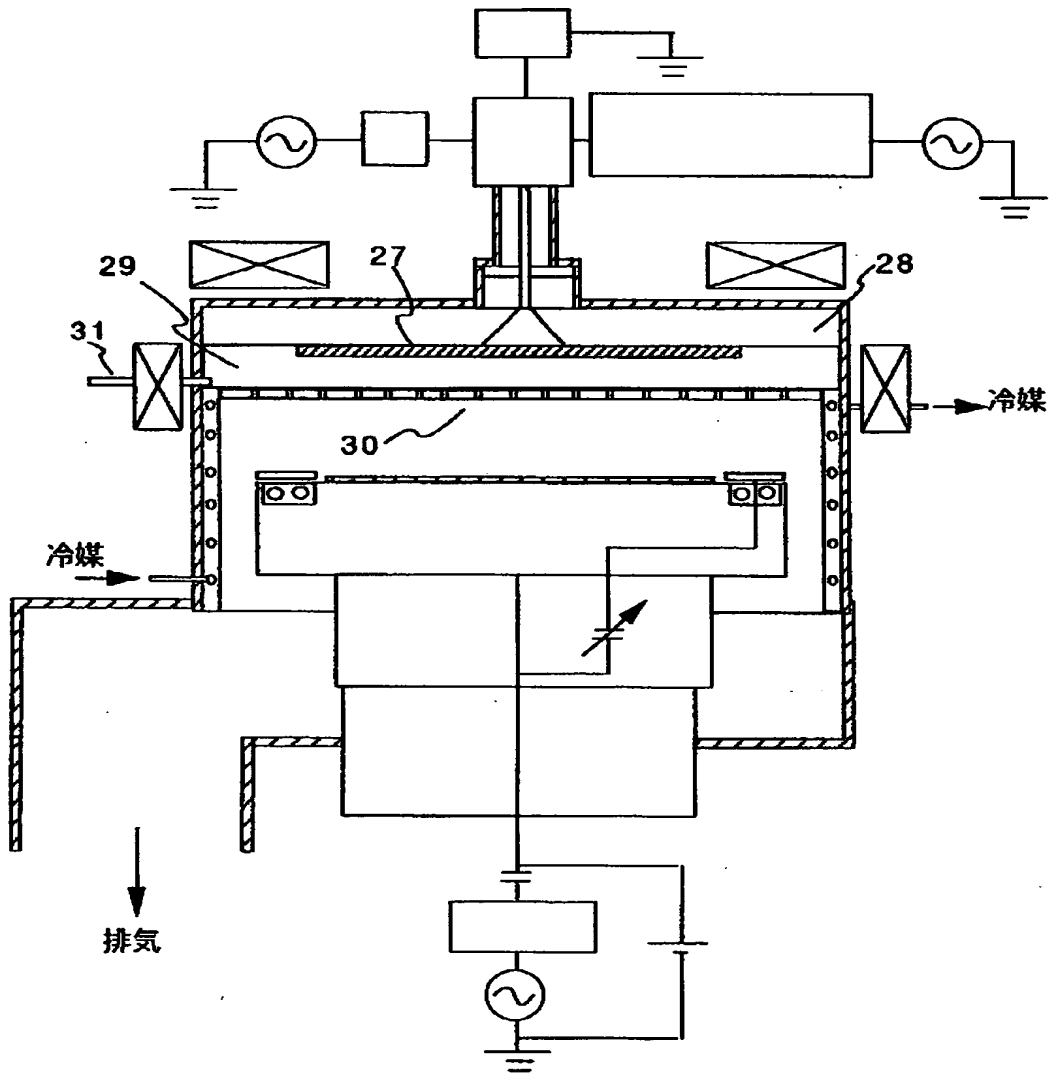
【図 2】

図2



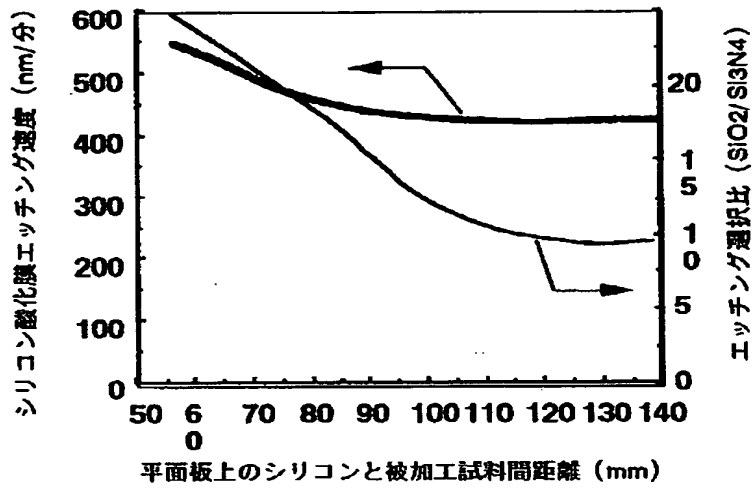
【图 3】

图3



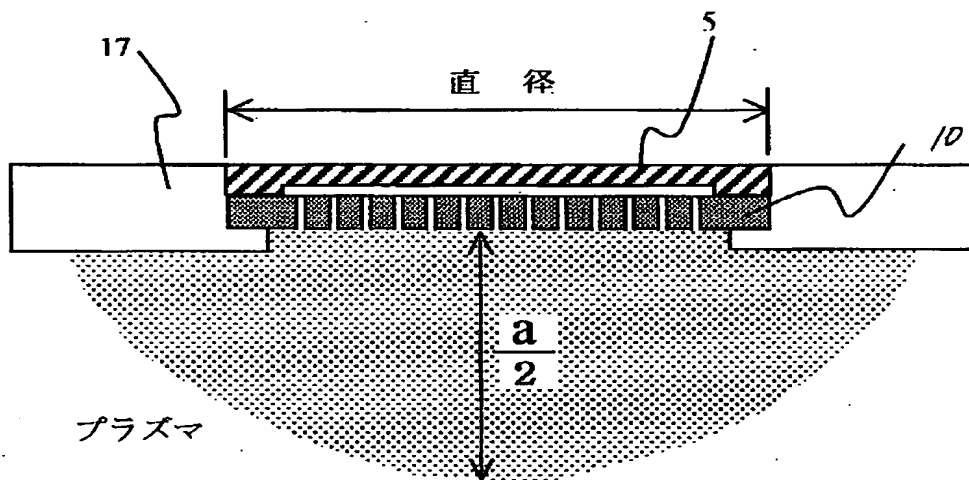
【図 4】

図4



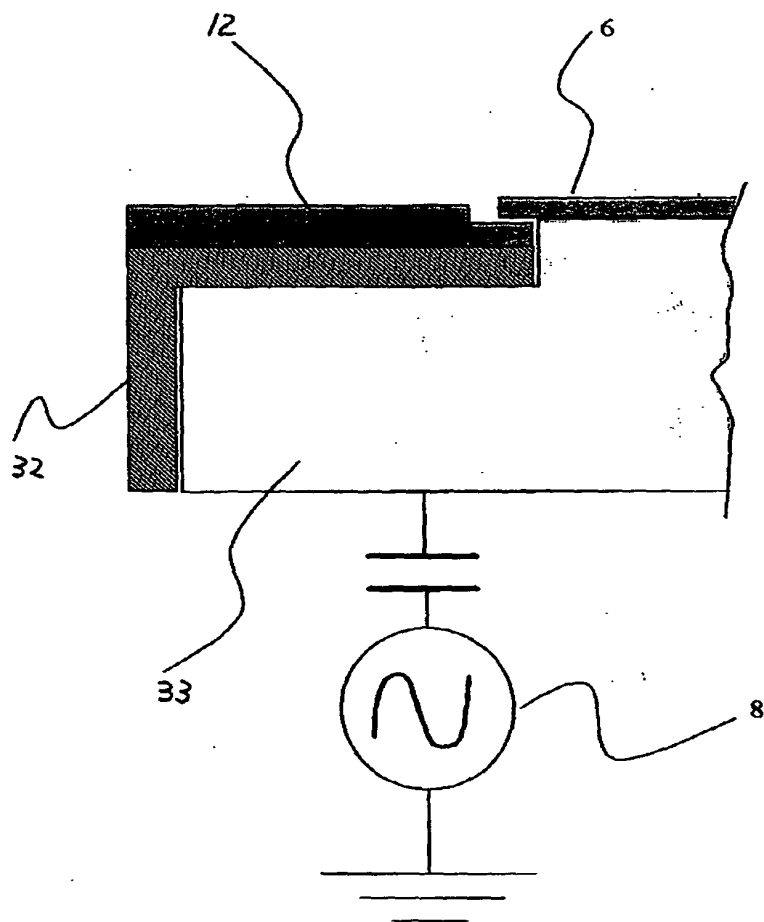
【図 5】

図 5



【図 6】

図 6



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 プラズマ処理において、プラズマ生成条件である放電電力、原料ガスの圧力、流量、組成で、プラズマ内の活性種を制御するしかなく、高精度に処理性能を制御することおよび特性を長期間安定に維持することが困難であった。

【解決手段】 300から500MHzの電磁波と磁場の相互作用でプラズマを形成し、電磁波導入用平板に50kHzから30MHzの電磁波を該300から500MHzの電磁波に重畳させ、さらに平板と被加工試料の間隔を被加工試料または平板のいずれか小さい方の径の1/2以下とする構成とした。

【効果】 プラズマ内の活性種がプラズマ生成条件とは独立にかつ効果的に制御でき、さらに長期的な処理性能の安定化が可能となる。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000005108]

1. 変更年月日 1990年 8月31日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

氏 名 株式会社日立製作所